

⑤①

Int. Cl. 2:

**B 23 Q 23/00**

①⑨ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

B 23 B 19/02

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DT 25 20 946 A 1**

①①

# **Offenlegungsschrift 25 20 946**

②①

Aktenzeichen:

P 25 20 946.5

②②

Anmeldetag:

10. 5. 75

④③

Offenlegungstag:

18. 11. 76

③①

Unionspriorität:

③② ③③ ③① —

⑤④

Bezeichnung:

Verfahren zur Verhinderung oder Beseitigung von  
Ratterschwingungen der Arbeitsspindel von Werkzeugmaschinen und  
Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens

⑦①

Anmelder:

Scharmann & Co, 4070 Rheydt

⑦②

Erfinder:

Dresen, Klaus, 5141 Merbeck

2520946

Patentanwalt  
**Dipl.-Ing. H. Wangemann**  
Dresdner Bank, Düsseldorf, Kto. 51-419 655  
Postscheck-Konto: Köln 1688 12

**4 Düsseldorf, den 2.5.1975**  
Stresemannstraße 28  
Fernruf 36 35 31

Meine Akte 5138a W/Schm.-

Firma Scharmann & Co.<sup>GmbH</sup> / Rheydt/Rhld., Hugo-Junkers-Str. 12 - 32

"Verfahren zur Verhinderung oder Beseitigung von Ratterschwingungen der Arbeitsspindel von Werkzeugmaschinen und Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens."

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verhinderung oder Beseitigung von Ratterschwingungen der Arbeitsspindel von Werkzeugmaschinen mit Hilfe eines stufenlos steuerbaren Elektroantriebs und eine Einrichtung zur Ausführung dieses Verfahrens.

Es ist bekannt, daß durch die elastische Nachgiebigkeit des Systems Werkzeugmaschine - Arbeitsspindel - Werkzeug - Zerspanungsprozeß - Werkstück leicht ein Rattern zwischen der Werkzeugschneide und dem Werkstück auftritt, das sich durch ständigen Wiedereintritt der Werkzeugschneide in bereits vorgebildete Rattermarkierungen, insbesondere bei konstanter Drehzahl und konstantem Vorschub schnell zu einem regenerativem Rattern ausweitete. Diese Erscheinung führt zu vorzeitigem Werkzeugverschleiß, oft zum Werkzeugbruch, und aufgrund der Rattermarkierungen an der Bearbeitungsoberfläche des Werkstückes zu erhöhten Ausschußquoten.

609847/0553

- 2 -

Es bietet sich an, zur Begrenzung des Ratterns die Schnittleistung herabzusetzen. Dies hat aber den Nachteil, daß eine evtl. vorhandene höhere Motorleistung nicht in die gewünschte Zerspansungsleistung umgesetzt werden kann. Manche Bearbeitungsvorgänge, wie z.B. das Ausspindeln von Bohrungen mit überlangen Bohrstan- gen (Verhältnis: Länge/Durchmesser größer als 5) lassen sich dann nicht mehr durchführen.

Eine Erhöhung der statischen Steifigkeit des oben angeführten Systems als weitere mögliche Maßnahme zur Vermeidung des Ratterns ist nur begrenzt anwendbar, da der Elastizitätsmodul der verwendeten Werkstoffe konstant ist. Auch einer Erhöhung der Dämpfung sind Grenzen gesetzt. Schließlich erfordert die Anbringung von Hilfsmassenschwingern aufwendige Konstruktionen und größeren Bauraum, der nicht immer vorhanden ist.

Mit den genannten Maßnahmen ist aber auch nur eine Verminderung der Schwingungsamplituden oder eine Verlagerung der vorhandenen Resonanzfrequenzen in andere Frequenzbereiche möglich, nicht aber eine Beseitigung der Ursache des regenerativen Ratterns.

Es ist z. B. aus Forschungsarbeiten von Spur, Milberg, Stöferle und Grab (Kurzberichte Hochschulgruppe Fertigungstechnik der Technischen Hochschulen und Universitäten der Bundesrepublik Deutschland, 72/38 und 73/33; Werkstatt und Betrieb, 105 (1972), S. 727/730) bekannt, daß das Rattern durch dauernde Störungen

609847/0553

ORIGINAL INSPECTED

- 3 -

der konstanten Schnittbedingungen, aus denen heraus sich die beschriebenen Schwingungen aufschaukeln, nicht nur gemildert, sondern bis zu gewissen Grenzen beseitigt werden kann. In einfachster Weise geschieht dies durch periodisch wiederholte Änderung der Drehzahl der Arbeitsspindel.

Zur praktischen Verwirklichung dieses Vorschlages liegen einige Lösungen auf der Hand, die aber bei näherer Betrachtung mit Nachteilen für die Praxis verbunden sind:

So gibt es zunächst die Möglichkeit, die Drehzahl durch Umschaltung in jeweils benachbarte Drehzahlstufen zu ändern, z. B. bei Kupplungsgetrieben. Die hohe Umschaltungsfrequenz führt jedoch zu einer schnellen Abnutzung der Kupplungen und/oder zu einer dauernden stoßartigen Belastung und entsprechendem Verschleiß des Antriebsmotors.

Dort, wo stufenlose elektrische Antriebe benutzt werden, deren Drehzahlen üblicherweise manuell über ein Potentiometer eingestellt werden, bietet sich die Möglichkeit, das Potentiometer durch einen mechanischen Schwingantrieb, z. B. eine motorisch angetriebene Kurbelschwinge zu betätigen. Eine solche Einrichtung würde jedoch bald zur Zerstörung des Potentiometers führen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine verschleißlos arbeitende Einrichtung zu schaffen, welche zur Beseitigung der Ursachen von Ratterschwingungen mit wenig Aufwand die Dreh-

zahl eines stufenlos regelbaren Antriebsmotors über einen bestimmbaren Drehzahlbereich selbsttätig ändert und ein Verfahren anzugeben, nach dem man durch Drehzahlüberlagerung die Schnittbedingungen fortlaufend ändern und damit ein regeneratives Schwingen stören kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung ein Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung vor, bei dem die Steuerspannung und damit die Drehzahl der Arbeitsspindel durch Überlagerung der der Grunddrehzahl entsprechenden Sollspannung  $U_s$  mit einer sich kontinuierlich und periodisch ändernden Spannung  $\Delta U_s$  variiert wird.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, als Überlagerungsspannung eine periodische Dreiecks- oder Sinusspannung zu verwenden. Die Verwendung solcher Überlagerungsspannungen hat zunächst den Vorteil, daß evtl. schädliche Drehzahlen nur äußerst kurz angefahren werden und der zeitliche Verlauf der Drehzahländerung leicht kontrollierbar und veränderbar ist. Weiter ist ein Funktionsgenerator zur Erzeugung solcher Spannungsverläufe leicht und billig zu realisieren, insbesondere ein Dreiecksspannungsgenerator.

Ein weiterbildendes Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die Amplitude der Überlagerungsspannung  $\Delta U_s$  proportional zu der Grunddrehzahl geregelt wird. Die Erfindung geht dabei von dem Gedanken aus, daß eine Überlagerung einer Spannung mit konstanter Amplitude bei kleinen Drehzahlen zu stark, bei hohen

609847/0553

BAD ORIGINAL



Drehzahlen dagegen fast ohne Einfluß wäre.

Durch eine drehzahlproportionale Amplitude der Überlagerungsspannung wird auch bei niedrig eingestellten Drehzahlen eine Drehrichtungsumkehr infolge der Spannungsüberlagerung ausgeschlossen. Bei drehzahlabhängiger Regelung der Überlagerungsspannung braucht der Bedienungsmann der Werkzeugmaschine nur einen Drehzahlknopf einzustellen und die Einstellung der richtigen Überlagerungsspannungsamplitude erfolgt dann selbsttätig entsprechend einem bestimmten Prozentsatz der eingestellten Drehzahl. Lediglich der Befehl zur periodischen Drehzahlüberlagerung wird bei Bedarf vom Bedienungsmann durch einen Schalter eingegeben.

Die Erfindung sieht ferner die Möglichkeit vor, die vorstehend beschriebenen Funktionen des Bedienungsmannes auch zu automatisieren, z.B. durch Verwendung einer numerischen Steuerung.

Erfindungsgemäß wird ferner eine Einrichtung zur Ausführung des zuvor beschriebenen Verfahrens vorgeschlagen, die dadurch gekennzeichnet ist, daß dem Antriebsmotor für die Arbeitsspindel eine Drehzahleinrichtung mit einem Drehzahlregler zugeordnet ist und daß der Drehzahlregler mit einem die der Grunddrehzahl entsprechende Sollspannung variierenden Funktionsgenerator und einem die Istdrehzahl der Arbeitsspindel messenden Tachometer-<sup>generator</sup>/eingangsseitig gekoppelt ist.

In Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß in dem

Funktionsgenerator die der Grunddrehzahl entsprechende Sollspannung  $U_{s_0}$  über ein Potentiometer einstellbar ist, eine Dreieckspannung über zwei Operationsverstärker, die als Integrierer und Schmitt-Trigger geschaltet sind, erzeugt wird, auf den invertierenden Eingang eines dritten Operationsverstärkers die Ausgangsspannung des Integriers und auf dessen positiven Eingangs die Sollspannung  $U_{s_0}$  gegeben wird, über ein zweites Potentiometer eine Rückführung des Ausgangs des dritten Operationsverstärkers an dessen invertierenden Eingang stattfindet und die beiden Potentiometer über eine gemeinsame Welle gekuppelt sind.

Vorteilhafterweise wird zur Begrenzung der Ausgangsspannung des Funktionsgenerators zwischen dessen Ausgangsanschlüssen eine an sich bekannte Antiparallelschaltung zweier Dioden und zweier Zenerdioden angeordnet.

Schließlich kann noch durch einen weiteren Operationsverstärker die Überlagerungsamplitude des Ausgangssignals manuell einstellbar sein, wie auch durch einen Schalter und Schwingungsmesser in der Nähe der Arbeitsspindel die Drehzahlüberlagerung automatisch einschaltbar sein kann.

Anhand der Figuren und Diagramme wird ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Einrichtung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nachfolgend näher erläutert, und zwar zeigen

- 7 -

Fig. 1 als Blockschaltbild einen elektrischen Antrieb einer Werkzeugmaschine mit Drehzahl- und Stromregelkreis,

Fig. 2 das Schaltbild eines Funktionsgenerators zur Erzeugung von Dreiecksfunktionen für die Drehzahlüberlagerung,

Fig. 3 ein Diagramm der im Funktionsgenerator erzeugten zeitabhängigen Überlagerungsfunktionen,

Fig. 4 ein Diagramm der zeitabhängigen Änderung der überlagerten Sollwertspannung für die Drehzahlsteuerung und

Fig. 5 ein der Fig. 4 ähnliches Diagramm, wenn die Sollwertbegrenzung für die maximal zulässige Drehzahl wirksam wird.

In Fig. 1 ist ein Gleichstrommotor 1 dargestellt, der die Arbeitsspindel einer Werkzeugmaschine antreibt und von einem Thyristor-Stromrichter 3 mit Gleichstrom versorgt wird.

Die Drehzahl des Motors ist proportional einer Gleichspannung  $U$  zwischen den Werten 0 und  $\pm U_{\max}$  veränderbar. Die Vorzeichen entsprechen der Drehrichtung des Motors. Da es sich um Sollwertspannungen handelt, werden sie im folgenden mit  $U_{s_0}$ ,  $U_s$  bzw.  $U_{s \max}$  bezeichnet, wobei  $U_s$  die gemäß  $U_s = U_{s_0} + \Delta U_s$  variierte Sollspannung bedeutet. Die primäre Stromversorgung erfolgt



- 8 -

aus dem Drehstromnetz 4. Der Drehzahl-Sollwert wird in Form der variierten Sollspannung  $U_s$  eingegeben. Er wird im Drehzahlregler 5 mit dem vom Tachogenerator 6 an der Motorwelle abgegriffenen Drehzahl-Istwert korrigiert und gelangt von dort in den Stromregler 7. Dieser überprüft anhand des in der Zuleitung zum Motor 1 gemessenen Stromes, ob ein vorgegebener Maximalstrom bzw. maximal variierte Sollspannung  $U_{s \text{ max.}}$  nicht überschritten wird. Schließlich gelangt das Drehzahl-Sollwertsignal über einen Steuersatz 8 zur Ansteuerung in den Thyristor-Stromrichter 3.

Üblicherweise wird die Sollspannung  $U_{s_0}$  für die Drehzahlsteuerung durch ein Potentiometer 9 auf der Bedienungstafel eingestellt (Fig. 2) und läßt sich an den Punkten 10 und 11 abgreifen. Als Gleichspannungsquelle dient z. B. eine Anzapfung des Thyristor-Stromrichters 3, die die Spannung  $+U_T$  und  $-U_T$  bereitstellt. Mit einem Wahlschalter 12 wird die Drehrichtung gewählt.

Zur Überlagerung der Sollwertspannung  $U_{s_0}$  mit der Spannungsänderung  $\Delta U_s$  wird nun die in Fig. 2 beschriebene Schaltung verwendet. Diese Schaltung enthält im wesentlichen eine Kombination von vier Operationsverstärkern 13 bis 16. Damit eine Spannungsüberlagerung möglich wird, müssen die vier Operationsverstärker aus einem potentialgetrenntem Netzgerät mit den Betriebsspannungen  $+U_B$  und  $-U_B$  versorgt werden. Die Sollspannung  $U_{s_0}$  der Grunddrehzahl wird auf den Ausgang 0 des Netzgerätes 17 gegeben. Auf diese Weise wird die gesamte Versorgungsspannung der Opera-

tionsverstärker um den Betrag  $U_{s_0}$  gegenüber dem Massepotential angehoben.

Die beiden Operationsverstärker 13 und 14 erzeugen in ihrem Zusammenwirken am Knotenpunkt 18 eine Dreiecksfunktion mit einer bestimmten Frequenz, die der Sollspannung  $U_{s_0}$  zu überlagern ist. Der Operationsverstärker 13 bildet mit der Rückkopplung über den Kondensator 19 zum invertierenden Eingang einen Integrierer 21, der Operationsverstärker 14 mit einer Rückführung über den Widerstand 22 zu dem positiven Eingang einen Schmitt-Trigger 23 mit Hysterese, d.h., der Operationsverstärker 14 kann nur zwei Ausgangszustände  $+U_{Tr}$  und  $-U_{Tr}$  annehmen ( Knotenpunkt 24, siehe auch Fig. 3 ). Der Eingangswiderstand 25 des Schmitt-Triggers 23 wird vom Ausgang des Integrierers 21 angesteuert. Die Widerstände 22 und 25 bestimmen die Hysterese des Schmitt-Triggers 23. Sie ist gleich einem bestimmten Prozentsatz des maximal möglichen Spannungssollwertes, also  $\pm p \cdot U_{s \max}$ , wie in Fig. 3 dargestellt.

Beträgt die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 14 zu einem bestimmten Zeitpunkt  $-U_{Tr}$ , z.B. zur Zeit 0 in Fig. 3, dann steht diese Spannung über das Potentiometer 26 und den Widerstand 27 am invertierenden Eingang des Integrierers 21 an. Die Ausgangsspannung des Integrierers baut sich also in positiver Richtung auf. Erreicht sie die Hysteresebegrenze  $+p \cdot U_{s \max}$  des Schmitt-Triggers 23, dann schaltet dessen Ausgang auf  $+U_{Tr}$

um. Infolgedessen steht am Integrierer 21 eine entgegengesetzt gerichtete Spannung an und die Spannung an dessen Ausgang nimmt wieder linear über/<sup>der</sup>Zeit ab. Dies geschieht so lange, bis die Ausgangsspannung des Integrierers 21 die andere Hysterese-grenze des Schmitt-Triggers 23 von  $p \cdot U_{s \max}$  erreicht. In diesem Moment schaltet der Schmitt-Trigger auf  $-U_{Tr}$  um, und der Vorgang wiederholt sich periodisch wie beschrieben.

Mit Hilfe des Potentiometers 26 läßt sich die Frequenz der Dreiecksfunktion einstellen. Wahlweise bietet sich die Möglichkeit, das Potentiometer 26 als Trimmwiderstand bei konstanter Frequenz im Inneren des Gerätes zu belassen oder als Potentiometer auf der Bedienungstafel anzuordnen, damit der Bedienungsmann die Frequenz beeinflussen kann.

Der Operationsverstärker 15 erhält über den Widerstand 28 das aus dem Integrierer 21 kommende Dreieckssignal. Damit an seinem Ausgang (Knotenpunkt 29) die Amplitude der Dreiecksspannung/<sup>der</sup>mit dem Faktor  $p$  multiplizierten Grundsollspannung  $U_{s_0}$  ist, ist der Ausgang des Operationsverstärkers/<sup>15</sup>über ein Potentiometer 30 zu seinem invertierenden Eingang rückgekoppelt. Das Potentiometer 30 hat dieselbe Betätigungssache wie das Potentiometer 9 für die Sollspannung  $U_{s_0}$ . Beide Potentiometer werden also zum Zwecke der Drehzahlvorwahl vom Bedienungsmann gleichzeitig betätigt.

Mit einem weiteren Potentiometer 31, das im Rückkopplungsweg zum invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers 16 liegt,

kann die Überlagerungsamplitude zwischen 0 und dem Höchstwert  $p \cdot U_{s_0}$  verändert werden. Auch das Potentiometer 31 kann wahlweise als Trimm-Widerstand für eine konstante Überlagerungsamplitude im Inneren des Gerätes belassen oder als Potentiometer auf die Bedienungstafel verlegt werden, um dem Bedienungsmann die Möglichkeit zu geben, die Überlagerungsamplitude zu beeinflussen.

Am Ausgang des Operationsverstärkers 16 (Knotenpunkt 32) ergibt sich jetzt gegenüber dem Massepotential (Punkt 10) ein überlagerter Spannungsverlauf, wie er in Fig. 4 dargestellt ist. Nun wird es beim Einstellen höherer Grunddrehzahlen vorkommen, daß infolge der Überlagerung ein größerer als der maximal zulässige Sollwert  $U_{s \max}$  erzeugt wird. Um zu vermeiden, daß dem Drehzahlregler 5, der an den Punkten 32a und 10a angeschlossen ist, zu hohe Sollwertspannungen eingegeben werden, müssen diese durch eine an sich bekannte Antiparallelschaltung von zwei Dioden 33,34 und zwei Zenerioden 35,36 auf  $U_{s \max}$  begrenzt werden (Fig. 5).

Der Bedienungsmann hat die Möglichkeit, die eben beschriebene Einrichtung zur periodischen Änderung der Drehzahl-Sollwertspannung wahlweise bei Bedarf zuzuschalten, und zwar über einen handbetätigten Schalter 37. Wird dieser Schalter geschlossen, zieht ein Relais 38 an und betätigt einen Kontakt 39, so daß die erzeugte Dreiecksfunktion vom Funktionsgenerator zum Opera-

- 12 -

tionsverstärker 16 übertragen werden kann. Eine an sich bekannte Schutzschaltung mit zwei antiparallel geschalteten Dioden 40 und 41 unterdrückt eventuelle Störspannungen, die bei geöffnetem Relaiskontakt 39 den Operationsverstärker 16 beschädigen könnten. Wird der Kontakt 39 geöffnet, so befindet sich der Operationsverstärker 16 über die Rückführung durch das Potentiometer 31 im Null-Abgleich. Dann hat der Ausgang des Operationsverstärkers 16 gegenüber dem Massepotential das gleiche Potential wie der 0-Ausgang des Netzgerätes 17, d. h. am Punkt 32a steht die am Potentiometer 9 eingestellte Sollspannung  $U_{s_0}$  unverändert zur Verfügung.

Soll die gesamte eben beschriebene Einrichtung zur periodischen Drehzahländerung nicht von Hand eingestellt, sondern z. B. über eine numerische Steuerung automatisch betrieben werden, so sind in an sich bekannter Weise die Potentiometer 9 und 30 durch eine codierte Anordnung von Widerständen zu ersetzen. Hierbei muß darauf geachtet werden, daß entsprechend der programmierten Drehzahl paarweise nicht nur für die Drehzahl-Sollspannung  $U_{s_0}$  benötigte Widerstand, sondern gleichzeitig ein proportionaler Widerstandswert für die Rückführung des Operationsverstärkers 15 eingestellt wird.

Das automatische Hinzuschalten der Drehzahlüberlagerung ist in einfacher Weise durch Programmieren von entsprechenden Hilfsfunktionen möglich. Da der Programmierer aber nicht immer im voraus weiß, ob unter bestimmten Schnittbedingungen Rattern auftreten wird oder nicht,

609847/0553



empfiehlt sich zur selbsttätigen Steuerung des Vorganges der Einbau eines an sich bekannten Schwingungsaufnehmers in der Nähe der Arbeitsspindel, der bei Ansprechen eines vorher eingestellten Schwellwertes ein Signal an das Relais 38 zur Einschaltung der Drehzahlüberlagerung abgibt. Durch Selbsthaltung bleibt das Relais so lange angezogen, bis vom Lochband andere Schnittbedingungen oder ein anderes Werkzeug für den nächsten Arbeitsschritt vorgegeben werden.

Düsseldorf, den 9.5.1975

Meine Akte Nr. 5138a W/FeFirma Scharmann & Co., RheydtP a t e n t a n s p r ü c h e

- 1) Verfahren zur Verminderung oder Beseitigung von Ratter-schwingungen der Arbeitsspindel von Werkzeugmaschinen mit Hilfe eines stufenlos steuerbaren Elektroantriebs, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl der Arbeitsspindel durch Überlagerung der der Grunddrehzahl entsprechenden Soll-spannung  $U_{s_0}$  mit einer sich kontinuierlich und periodisch ändernden Spannung  $U_s$  variiert wird.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Überlagerungsspannung eine periodische Dreiecks- oder Sinusspannung verwendet wird.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude der Überlagerungsspannung  $U_s$  und damit die Größe der Drehzahländerung proportional zu der Grund-drehzahl geregelt wird.

- 4) Einrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß dem Antriebsmotor (1) für die Arbeitsspindel eine Drehzahlregeleinrichtung (3,5,7,8) mit einem Drehzahlregler (5) zugeordnet ist und daß der Drehzahlregler (5) eingangsseitig mit einem die der Grunddrehzahl zugeordnete Sollspannung variierenden Funktionsgenerator (Fig. 2) und einem die Istdrehzahl der Arbeitsspindel messenden Tachometergenerator (6) gekoppelt ist.
- 5) Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Funktionsgenerator (Fig. 2) über ein Potentiometer (9) die der Grunddrehzahl entsprechende Sollspannung  $U_{s_0}$  und über zwei Operationsverstärker (13,14), von denen einer als Integrierer (21) und der andere als Schmitt-Trigger (24) geschaltet ist, eine Dreiecksspannung erzeugt wird, daß auf den invertierenden Eingang eines dritten Operationsverstärker (15) die Ausgangsspannung des Integrierers (21) und auf dessen positiven Eingang die Sollspannung  $U_{s_0}$  gegeben wird, daß über ein Potentiometer (30) eine Rückkopplung des Ausgangs des Operationsverstärkers (15) an seinen invertierenden Eingang gebildet ist und daß die Potentiometer (9,30) eine gemeinsame Betätigungswelle haben.
- 6) Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß

- 16 -

zur Begrenzung der Ausgangsspannung  $U_s$  zwischen den Ausgangsanschlüssen des Funktionsgenerators eine an sich bekannte Antiparallelschaltung zweier Dioden (33,34) und zweier Zenerdioden (35,36) angeordnet ist.

- 7) Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der invertierende Eingang eines weiteren Operationsverstärkers (16) mit dem Ausgang des dritten Operationsverstärkers (15) verbunden ist, an deren positiven Eingang die Sollspannung gegeben wird, und daß eine Rückkopplungsschleife vom Ausgang des weiteren Operationsverstärkers über ein Potentiometer (31) zu dessen invertierenden Eingang derart gebildet ist, daß die Überlagerungsamplitude  $U_s$  zwischen 0 und einem Maximalwert, der gleich einem vorgewählten Prozentsatz  $P$  der Sollspannung  $U_{s_0}$  ist, einstellbar ist.
- 8) Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem dritten Operationsverstärker (15) und dem weiteren Operationsverstärker (16) ein Schalter (37) zum Ein- oder Abschalten der Drehzahlüberlagerung angeordnet ist.

- 17 -

609847/0553

- 9) Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zum automatischen Zuschalten der Drehzahlüberlagerung (Schalter 37) in der Nähe der Arbeitsspindel ein an sich bekannter Schwingungsaufnehmer mit Schwellvertauslöser vorgesehen ist.
- 10) Einrichtung nach Anspruch 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem invertierenden Eingang des weiteren Operationsverstärkers (16) und dessen die Sollspannung  $U_{s_0}$  führenden positiven Eingang eine an sich bekannte Schutzschaltung mit zwei antiparallel geschalteten Dioden (40,41) angeordnet ist.



**12**  
Leerseite

ORIGINAL INSPECTED

-21-

Fig. 1

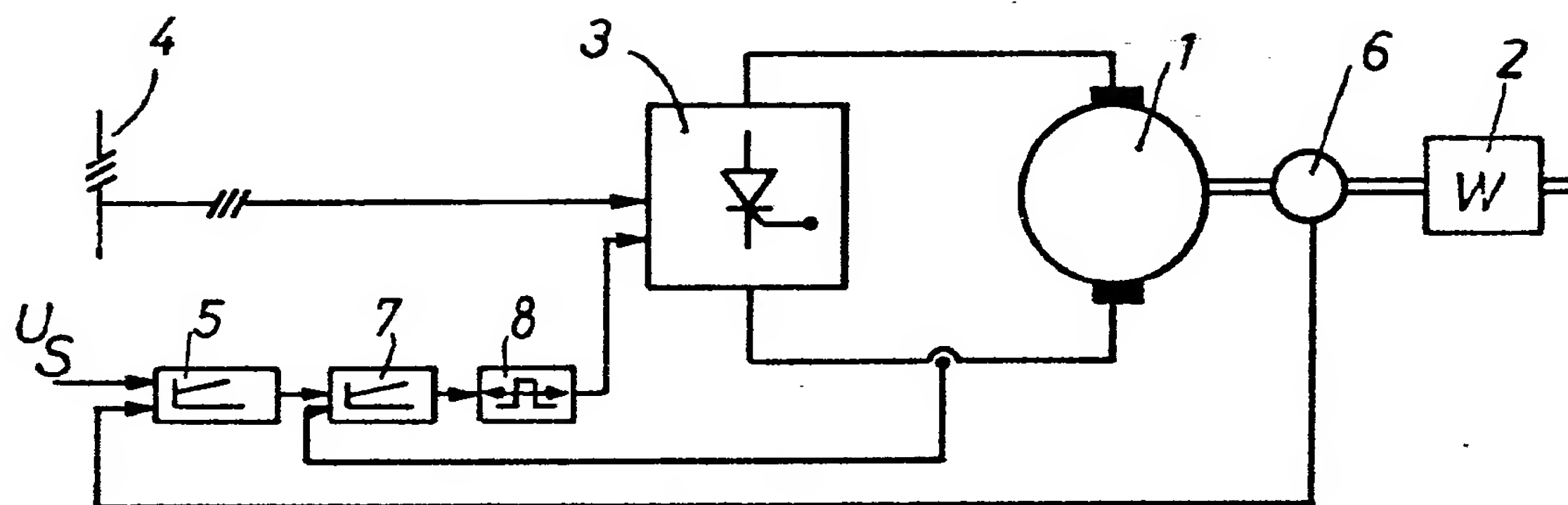
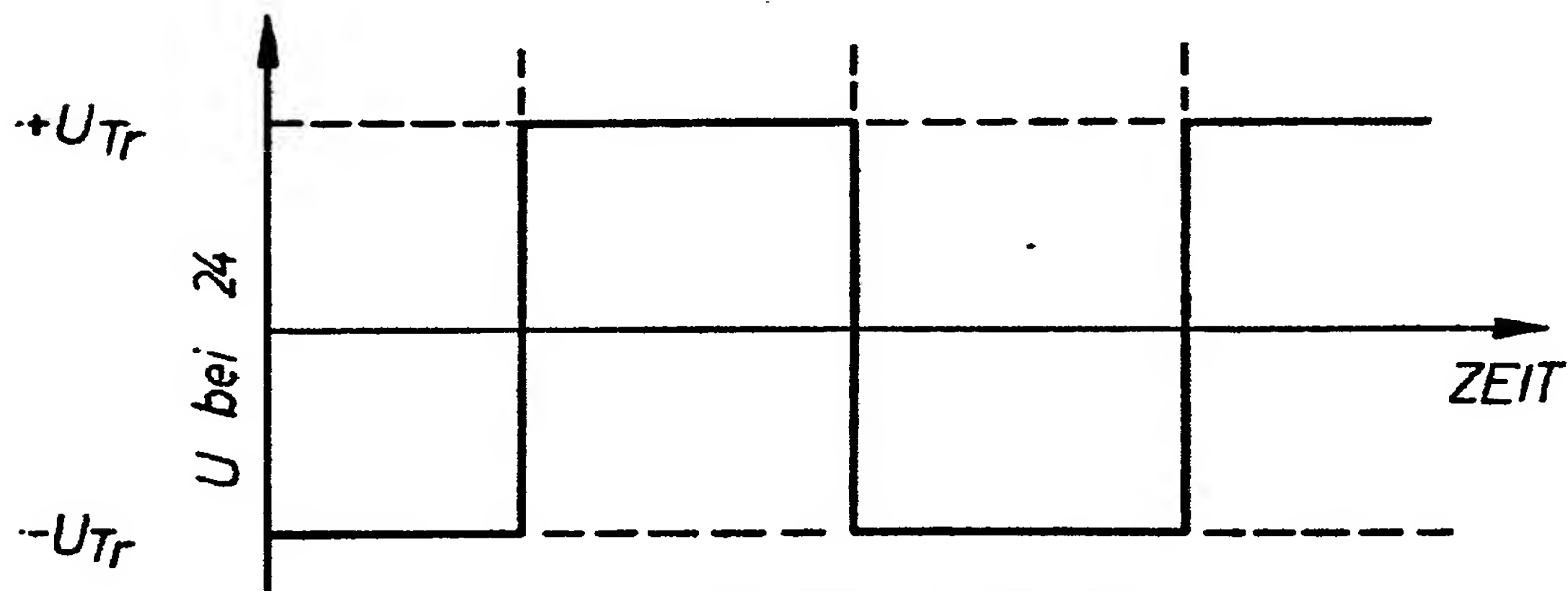
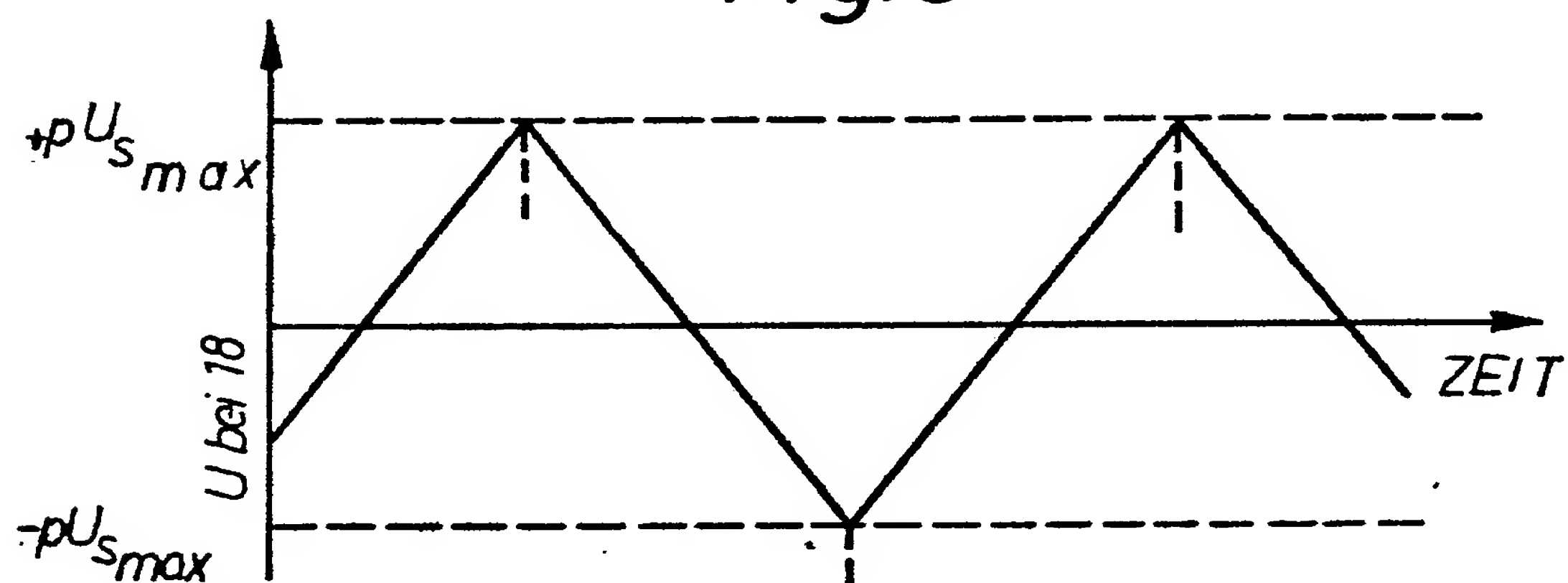


Fig. 3



609847/0553

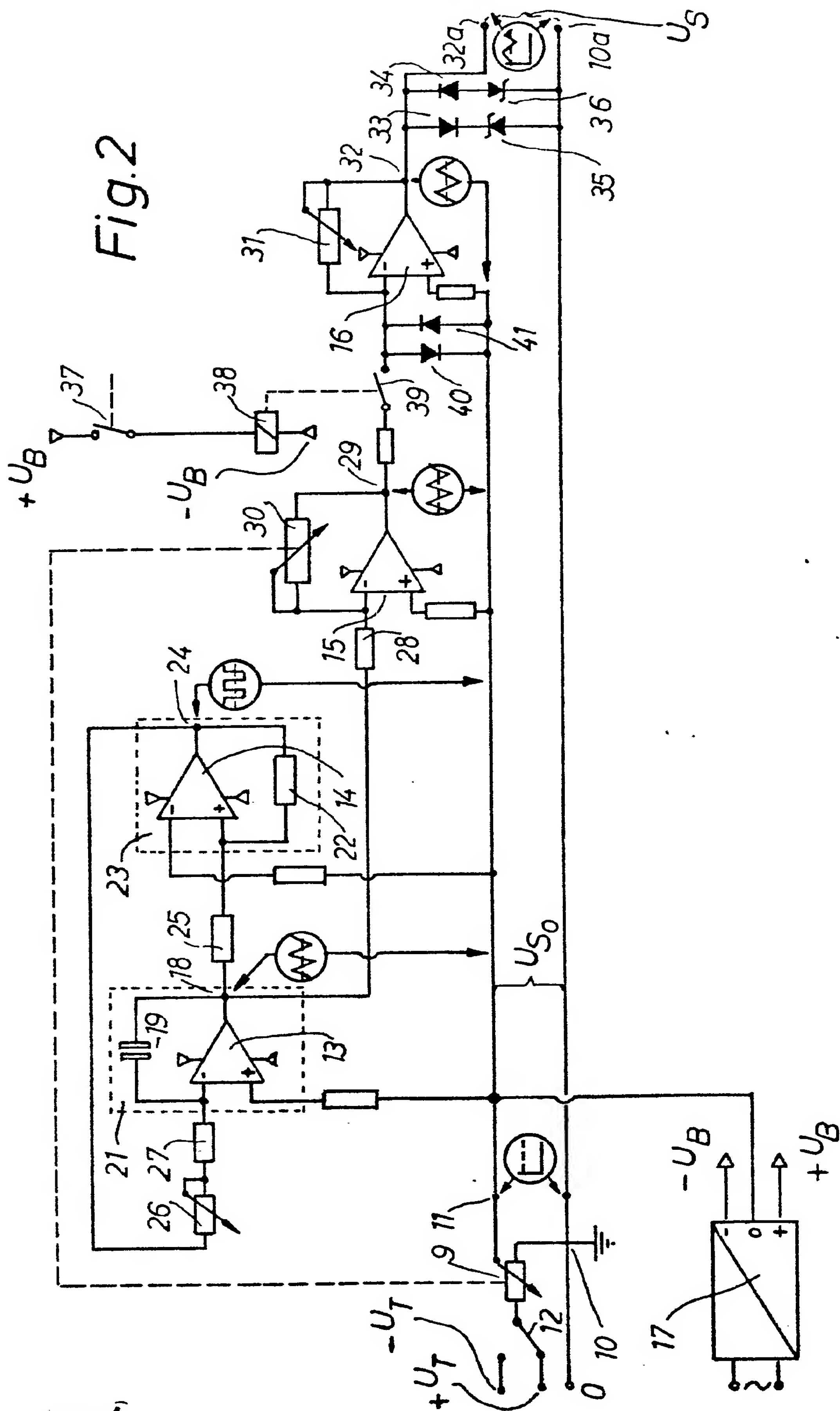


Fig. 4

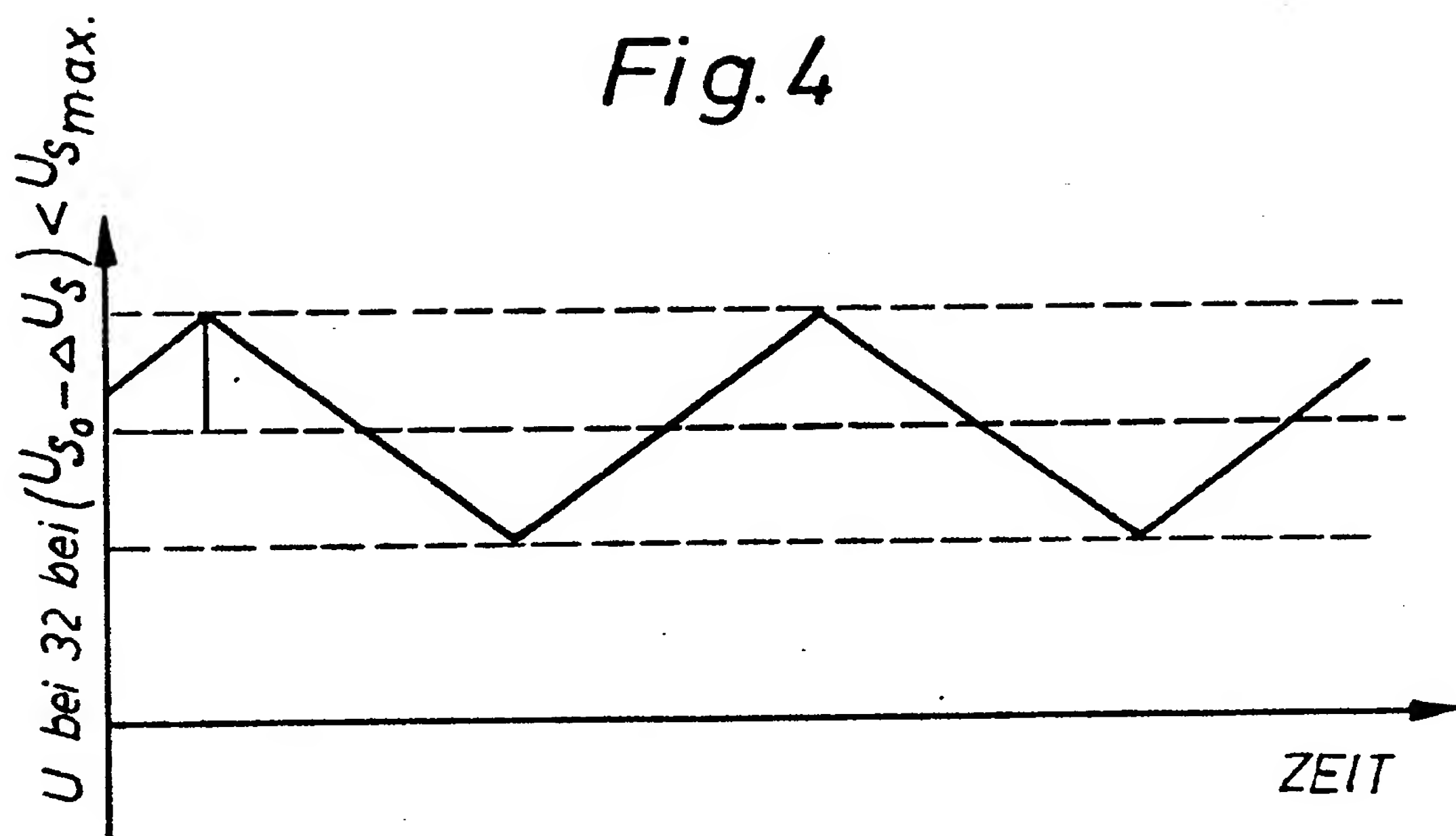


Fig. 5

